



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 23 584 A 1**

⑥1 Int. Cl. 6:  
**F 16 D 1/06**  
F 16 H 15/04

②1 Aktenzeichen: 195 23 584.3  
②2 Anmeldetag: 29. 8. 95  
④3 Offenlegungstag: 2. 1. 97

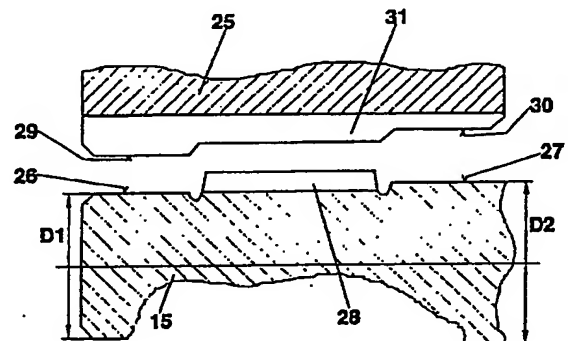
DE 195 23 584 A 1

⑦1 Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 88048 Friedrichshafen, DE

⑦2 Erfinder:  
Skrabs, Alfred, 88271 Kleinblittersdorf, DE; Illerhaus,  
Dietmar, 88131 Lindau, DE; Mozer, Herbert, 88048  
Friedrichshafen, DE

⑤4 **Formschlüssige Wellen-Naben-Verbindung**

⑤7 Es wird eine formschlüssige Wellen-Naben-Verbindung, vorzugsweise für ein CVT, vorgeschlagen. Welle (15) und Nabe (25) zentrieren sich zueinander über jeweils zwei Flächen. Zwischen den beiden Flächen befindet sich ein Mitnahmeprofil (28, 31).



DE 195 23 584 A 1

Die Erfindung betrifft eine formschlüssige Wellen-Naben-Verbindung, vorzugsweise für ein CVT.

Stufenlose Automatgetriebe, nachfolgend CVT genannt (Continuously Variable Transmission), bestehen aus folgenden Baugruppen Anfahrereinheit Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit, Variator, Zwischenwelle und Differential. Üblicherweise werden derartige CVT von einer Brennkraftmaschine über eine Antriebswelle, zum Beispiel Kurbelwelle, angetrieben. Als Anfahrereinheit dient entweder eine Anfahrkupplung oder ein hydrodynamischer Wandler. Die Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit dient der Drehrichtungsumkehr für die Rückwärtsfahrt. Die Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit ist meist als ein Planetenwendegetriebe ausgeführt. Dieses besteht aus mindestens einem Sonnenrad, mehreren Planeten, einem Hohlrad, einer Bremse und einer Kupplung der Lamellenbauart. Der Variator besteht aus zwei Kegelscheibenpaaren und einem Umschlingungsorgan. Jedes Kegelscheibenpaar wiederum besteht aus einer in axialer Richtung feststehenden ersten Kegelscheibe und einer in axialer Richtung verschiebbaren zweiten Kegelscheibe. Zwischen diesen Kegelscheibenpaaren läuft das Umschlingungsorgan, zum Beispiel ein Schubgliederband. Über die Verstellung der zweiten Kegelscheibe ändert sich der Laufradius des Umschlingungsorgans und somit die Übersetzung des CVT. Das zweite Kegelscheibenpaar ist drehfest mit einer Abtriebswelle verbunden. Die Abtriebswelle überträgt das Moment über ein Zahnradpaar auf die Zwischenwelle. Die Zwischenwelle dient der Drehrichtungsumkehr und der Moment- und Drehzahlanpassung. Das Moment der Zwischenwelle wird über ein weiteres Zahnradpaar auf das Differential übertragen.

Aus der Automobiltechnischen Zeitschrift 96 (1994) 6, Seite 380, Bild 3, ist ein CVT bekannt, bei dem das Moment der Abtriebswelle auf die Zwischenwelle über ein Zahnradpaar übertragen wird. Das Zahnrad, nachfolgend als Nabe bezeichnet, welches auf der Abtriebswelle sich befindet, zentriert sich über eine Fläche auf der Abtriebswelle. Die Übertragung des Moments von der Abtriebswelle auf die Nabe erfolgt formschlüssig über eine Verzahnung. Bedingt durch die einseitige Zentrierung tritt bei Belastung dieser Anordnung ein Kippmoment auf. Das Kippmoment verursacht eine ungleichmäßige Belastung des Zahnradpaares.

Ausgehend von diesem Stand der Technik hat die Erfindung zur Aufgabe, die bestehende Anordnung weiterzuentwickeln.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine formschlüssige Wellen-Naben-Verbindung gelöst, bei der die Welle zwei Flächen an der Außenkontur aufweist und zwischen den beiden Flächen sich ein Mitnahmeprofil befindet. Die beiden Flächen befinden sich auf unterschiedlichen Wellendurchmessern. Die Nabe weist ebenfalls zwei Flächen an der Innenkontur auf, wobei sich zwischen den beiden Flächen ebenfalls ein Mitnahmeprofil befindet. Die beiden Flächen der Nabe befinden sich auf unterschiedlichen Nabendurchmessern. Die Flächen und das Mitnahmeprofil der Welle und die Flächen und das Mitnahmeprofil der Nabe liegen sich gegenüber, so daß sich Nabe und Welle über diese Flächen zueinander zentrieren. Das Moment wird von der Welle zur Nabe bzw. vice versa mittels des Mitnahmeprofiles übertragen.

Die erfindungsgemäße Lösung bietet den Vorteil, daß durch die doppelte Zentrierung, auch unter Belastung,

ein gleichmäßiger Zahneingriff gewährleistet ist.

In einer Ausgestaltung hierzu wird vorgeschlagen, daß bei der Herstellung der Nabe das Mitnahmeprofil sich über die gesamte Länge der Nabe erstreckt und die beiden Flächen durch nachträgliches Abtragen des Mitnahmeprofiles entstehen. Die Ausgestaltung bietet den Vorteil, daß die Nabe symmetrisch ausgeführt ist. Bei einer Wärmebehandlung der Nabe treten somit geringere Toleranzen auf.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Nabe für die Bearbeitung nur einmal eingespannt werden muß. Hierdurch werden Rundlauffehler verhindert.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, daß bei der Herstellung der Nabe das Mitnahmeprofil sich nur über einen Teil der Länge der Nabe erstreckt. Eine der beiden Flächen entsteht durch nachträgliches Abtragen des Mitnahmeprofiles.

In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Systemschaubild eines CVT;

Fig. 2 eine erste Ausgestaltung der Wellen-Naben-Verbindung und

Fig. 3 eine zweite Ausgestaltung der Wellen-Naben-Verbindung.

Fig. 1 zeigt ein Systemschaubild, bestehend aus einer Antriebseinheit 1, zum Beispiel Brennkraftmaschine, einem CVT 3 und einem elektronischen Steuergerät 19. Das CVT 3 wird von der Antriebseinheit 1 über eine Antriebswelle 2 angetrieben. Die Antriebswelle 2 treibt eine Anfahrereinheit an. In Fig. 1 ist als Anfahrereinheit ein hydrodynamischer Wandler 4 dargestellt. Der hydrodynamische Wandler 4 besteht bekanntermaßen aus einem Pumpenrad 5, Turbinenrad 6 und Leitrad 7. Parallel zum hydrodynamischen Wandler ist eine Wandlerüberbrückungskupplung ohne Bezugszeichen dargestellt. Mit dem Pumpenrad 5 des hydrodynamischen Wandlers 4 ist eine Pumpe 8 verbunden. Die Pumpe 8 fördert das Hydraulikmedium aus dem Schmiermittelsumpf zu den Stellgliedern des CVT 3. Das Turbinenrad 6 bzw. die Wandlerüberbrückungskupplung treiben eine erste Welle 9 an. Diese Welle 9 wiederum treibt eine Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit 10 an. Ausgangsgröße der Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit ist eine zweite Welle 11. Die zweite Welle 11 ist mit dem Variator verbunden. Der Variator besteht aus einem ersten Kegelscheibenpaar 12, einem zweiten Kegelscheibenpaar 14 und einem Umschlingungsorgan 13. Das Umschlingungsorgan 13 läuft zwischen den beiden Kegelscheibenpaaren 12 und 14. Bekanntermaßen besteht jedes Kegelscheibenpaar aus einer in axialer Richtung feststehenden ersten Kegelscheibe und einer in axialer Richtung verschiebbaren zweiten Kegelscheibe. Die Übersetzung des Getriebes wird verändert, indem die Position der verschiebbaren zweiten Kegelscheibe geändert wird. Dadurch ändert sich bekanntermaßen der Laufradius des Umschlingungsorgans 13 und somit die Übersetzung. Der Variator ist mit einer Abtriebswelle 15 verbunden.

Eine Zwischenwelle 16 ist mit der Abtriebswelle 15 über ein Zahnradpaar verbunden. Die Zwischenwelle 16 dient der Drehrichtungsumkehr und einer Drehmoment- und Drehzahlanpassung. Die Zwischenwelle 16 ist über ein Zahnradpaar mit dem Differential 17 verbunden. Ausgangsgröße des Differentials 17 sind die beiden Achshalbwellen 18A und 18B, die auf die Antriebsräder des Fahrzeugs führen.

Das elektronische Steuergerät 19 steuert über nicht dargestellte elektromagnetische Stellglieder das CVT 3.

Vom elektronischen Steuergerät 19 sind als Funktionsblöcke der Micro-Controller 20, ein Funktionsblock Berechnung 22 und ein Funktionsblock Steuerung Stellglieder 21 dargestellt. Am elektronischen Steuergerät 19 sind Eingangsgrößen 23 angeschlossen. Eingangsgrößen 23 sind zum Beispiel das Signal einer Drosselklappe, das Signal der Drehzahl der Antriebseinheit, das Signal der Fahrzeuggeschwindigkeit und die Drehzahlssignale der Kegelscheibenpaare 12 bzw. 14. Der Micro-Controller 20 berechnet mittels des Funktionsblockes 22 aus den Eingangsgrößen 23 die Funktionsparameter für das CVT 3. Diese werden mittels des Funktionsblockes Steuerung Stellglieder 21 über die nicht dargestellten elektromagnetischen Stellglieder, welche sich im hydraulischen Steuergerät 24 des CVT 3 befinden, eingestellt. Funktionsparameter des CVT 3 sind zum Beispiel die Übersetzung und der Anpreßdruck zweite Kegelscheibe zu Umschlingungsorgan 13.

Fig. 2 zeigt eine erste Ausgestaltung der formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindung. Diese besteht aus der Abtriebswelle 15 und der Nabe 25. Die Abtriebswelle 15 weist zwei Flächen 26 und 27 an der Außenkontur auf. Zwischen den beiden Flächen 26 und 27 befindet sich ein Mitnahmeprofil 28. Die Fläche 26 liegt auf einem Wellendurchmesser D1. Die Fläche 27 liegt auf einem Wellendurchmesser D2. Wie in der Zeichnung dargestellt, unterscheiden sich die beiden Wellendurchmesser. Die Nabe 25 weist zwei Flächen 29 und 30 auf. Über die gesamte Breite der Nabe 25 erstreckt sich ein Mitnahmeprofil 31. Die Flächen 29 und 30 entstehen durch nachträgliches Abtragen des Mitnahmeprofiles 31. Die Fläche 29 steht der Fläche 26 gegenüber, die Fläche 30 der Fläche 27. Über diese Flächen zentrieren sich die Welle 15 und die Nabe 25 zueinander. Die Übertragung des Moments von der Welle 15 auf die Nabe 25 bzw. vice versa geschieht über das Mitnahmeprofil 28 bzw. 31.

Die Nabe 25 wird folgendermaßen bearbeitet: Vordrehen, Räumen der Verzahnung und anschließendes Schleifen der Flächen 29 und 30. Hierzu wird die Nabe 25 nur einmal eingespannt. Gleichlauffehler, welche durch das Umspannen des Werkstücks verursacht werden, treten somit nicht auf. Durch die symmetrische Ausführung dieser Wellen-Naben-Anordnung treten bei der Wärmebehandlung geringere Toleranzen auf.

Fig. 3 zeigt eine zweite Ausgestaltung der Wellen-Naben-Verbindung. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß Fig. 2 dadurch, daß sich das Mitnahmeprofil 31 der Nabe 25 nur über einen Teil der Länge der Nabe 25 erstreckt.

#### Bezugszeichenliste

1 Antriebseinheit	
2 Abtriebswelle	55
3 CVT	
4 hydrodynamischer Wandler und Wandlerüberbrückungskupplung	
5 Pumpenrad	
6 Turbinenrad	60
7 Leitrad	
8 Pumpe	
9 erste Welle	
10 Vorwärts-/Rückwärtsfahreinheit	
11 zweite Welle	65
12 erstes Kegelscheibenpaar	
13 Umschlingungsorgan	
14 zweites Kegelscheibenpaar	

15 Abtriebswelle	
16 Zwischenwelle	
17 Differential	
18A Getriebeausgangswelle	
18B Getriebeausgangswelle	5
19 elektronisches Steuergerät	
20 Micro-Controller	
21 Funktionsblock Steuerung Stellglieder	
22 Funktionsblock Berechnung	
23 Eingangsgrößen	10
24 hydraulisches Steuergerät	
25 Nabe	
26 Fläche, Abtriebswelle	
27 Fläche, Abtriebswelle	
28 Mitnahmeprofil, Abtriebswelle	15
29 Fläche, Nabe	
30 Fläche, Nabe	
31 Mitnahmeprofil, Nabe	

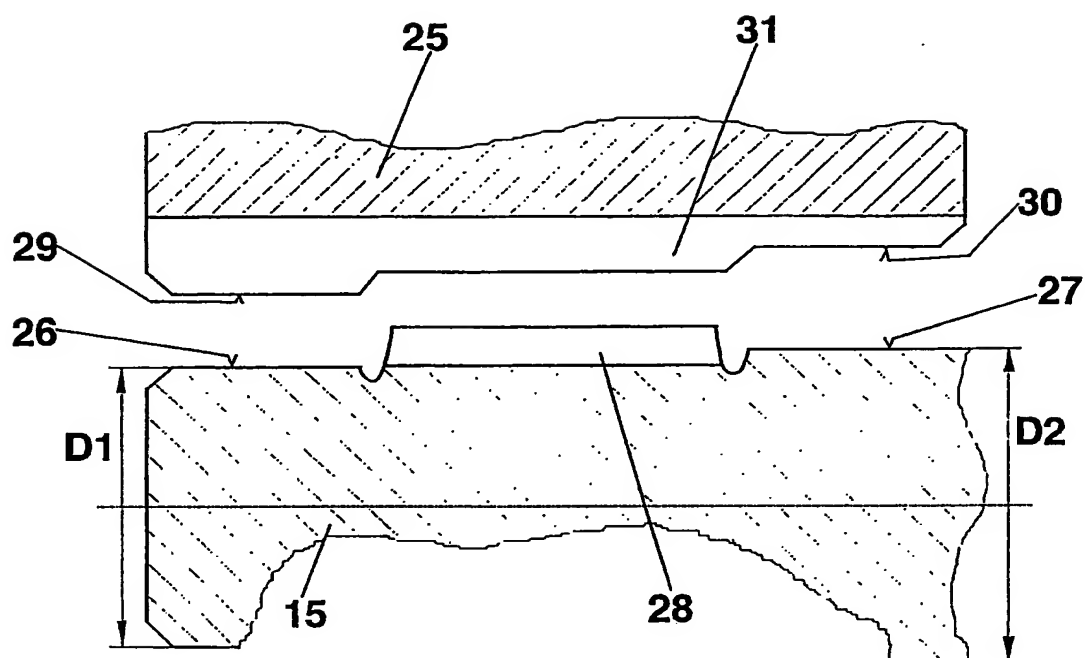
#### Patentansprüche

1. Formschlüssige Wellen-Naben-Verbindung, hierbei weist die Welle (15) zwei Flächen (26, 27) an der Außenkontur auf, zwischen den beiden Flächen (26, 27) befindet sich ein Mitnahmeprofil (28), die beiden Flächen (26, 27) befinden sich auf unterschiedlichen Wellendurchmessern, die Nabe (25) weist ebenfalls zwei Flächen (29, 30) an der Innenkontur auf, zwischen den beiden Flächen (29, 30) befindet sich ein Mitnahmeprofil (31), die beiden Flächen (29, 30) befinden sich auf unterschiedlichen Nabendurchmessern, die Flächen (26, 27) und das Mitnahmeprofil (28) der Welle (15) sind den Flächen (29, 30) und dem Mitnahmeprofil (31) der Nabe (25) gegenüberliegend, so daß sich Nabe (25) und Welle (15) über diese Flächen (26, 27 und 29, 30) zueinander zentrieren und ein Moment von der Welle (15) zur Nabe (25) bzw. vice versa mittels des Mitnahmeprofiles (28, 31) geschieht.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Herstellung der Nabe (25) das Mitnahmeprofil (31) sich über die gesamte Länge der Nabe (25) erstreckt und die beiden Flächen (29, 30) durch nachträgliches Abtragen des Mitnahmeprofiles (31) entstehen.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Herstellung der Nabe (25) das Mitnahmeprofil (31) sich nur über einen Teil der Länge der Nabe (25) erstreckt und eine der beiden Flächen (29, 30) durch nachträgliches Abtragen des Mitnahmeprofiles (31) entsteht.
4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß diese bei einem CVT verwendet wird.

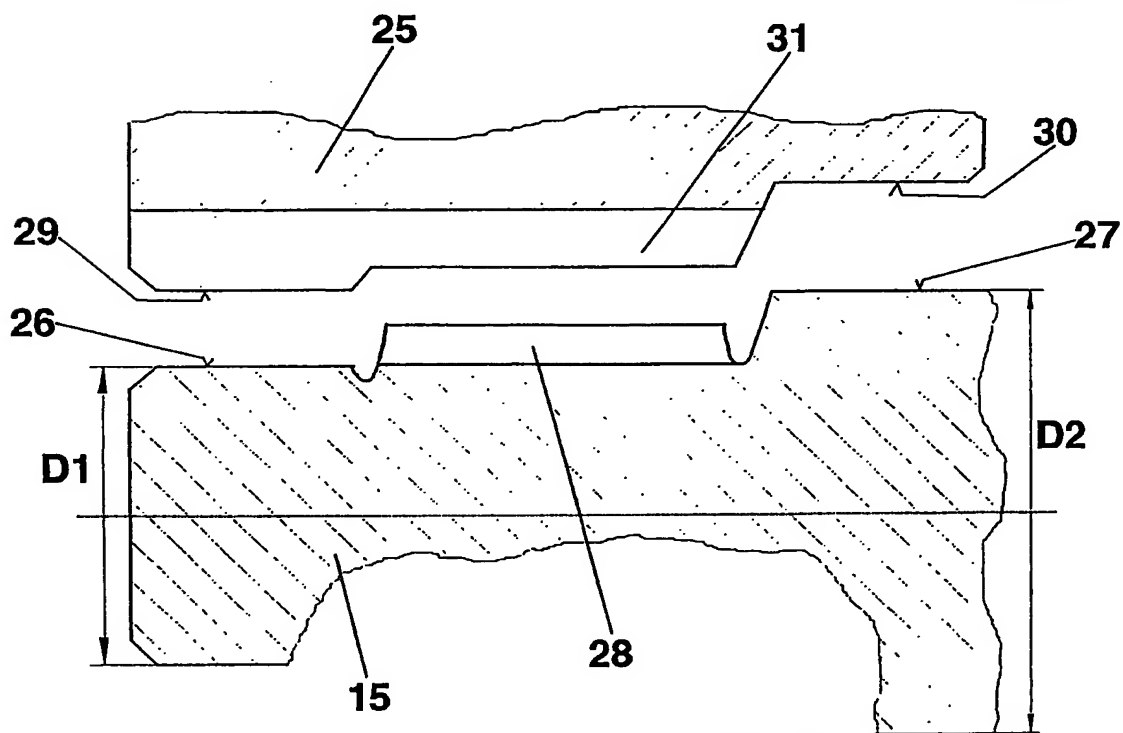
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**BEST AVAILABLE COPY**



**Fig. 2** \*



**Fig. 3**

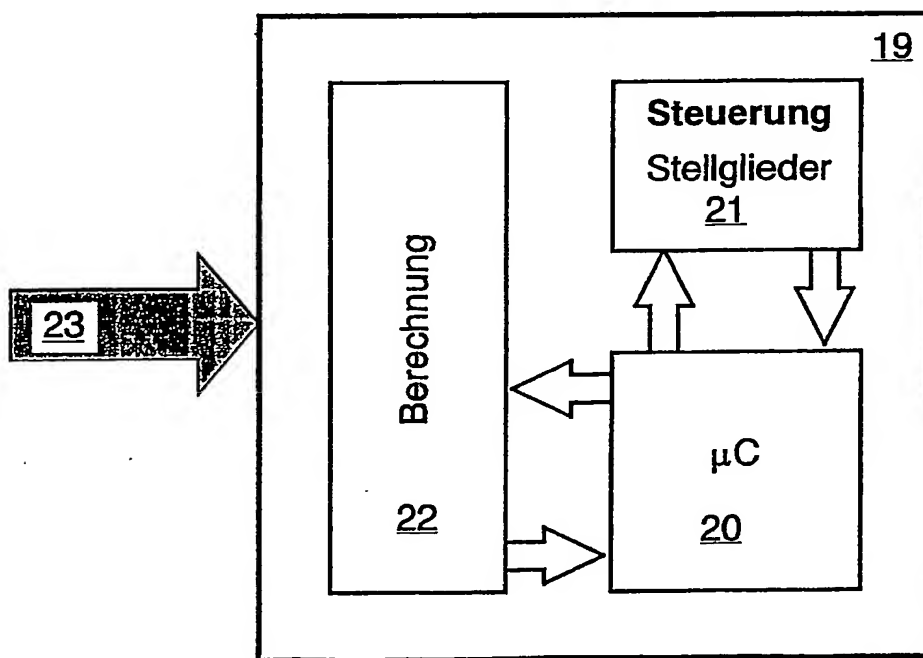
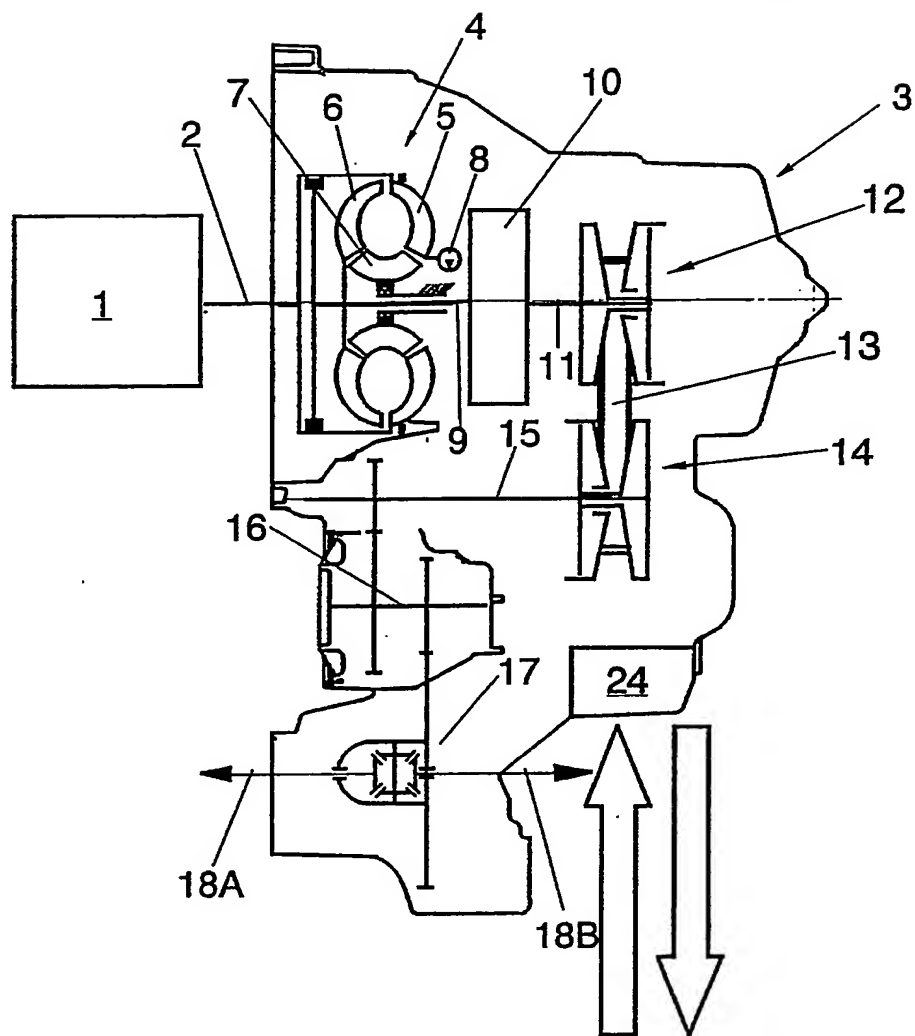


Fig. 1

### Zahnwellenverbindung

Die Erfindung betrifft eine beispielsweise aus der DT-PS 1 425 231 bekannte Zahnwellenverbindung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Die Zielsetzung bei der Schaffung der durch die DT-PS 1 425 231 vorbekannten Zahnwellenverbindung war die, durch gezielte Bemessung des über die axiale Erstreckung der Zahnwellenverbindung hinweg veränderlichen Zahnflankenspieles die Lebensdauer der Zahnwellenverbindung zu erhöhen. Es wurde bei der vorbekannten Zahnwellenverbindung aus diesem Grunde ein über die gesamte Erstreckung der Verbindung hinweg sich linear veränderndes Zahnflankenspiel vorgesehen, wobei das maximale Zahnflankenspiel in der Größe der maximalen Zahndeformation bzw. der maximalen Wellentorsion unter Belastung war.

Diese Ausgestaltung der Zahnwellenverbindung hat verschiedene Nachteile: Zum einen ist sie wegen der erforderlichen Umfangszentrierung von Welle und Nabe nur durch sehr genau und zwar spanabhebend bearbeitete Umfangsflächen möglich.

Dies setzt eine entsprechende spanabhebende Bearbeitung voraus, die zumindest bei der Massenfertigung derartiger Verbindungen unvertretbar kostspielig ist. Ferner hat die Praxis gezeigt, daß mit derartigen Maßnahmen ausgeprägte Spannungsspitzen auf der dem Kraftfluß zugekehrten Seite der Zahnwellenverbindung und von ihnen ausgehende Dauerbrüche nicht vermieden werden können.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, Spannungsspitzen an Zahnwellenverbindungen der zugrunde liegenden Art so stark abzubauen, daß Dauerbrüche auch ohne kostspielige dauerfestigkeitssteigernde Maßnahmen am Werkstoff normalerweise nicht mehr zu befürchten sind. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 gelöst.

Aufgrund der tangential sich voneinander abhebenden Zahnflanken bei Beginn der Spielerweiterung kommt es bei Belastung infolge der Verformung zu einer Abplattung der in Axialrichtung gekrümmt ausgebildeten Zahnflanke und somit zu einer allmählichen, lastabhängigen Verlängerung der Berührungslänge. Im übrigen wird durch die Krümmung der Zahnflanke in Axialrichtung und das tangential abheben die Stelle größter Spannung axial auf einen größeren Bereich verteilt. Da derartige Zahnwellenverbindungen in der Regel mit einem Lastkollektiv, d. h. mit Lasten unterschiedlicher Höhe und unterschiedlicher Frequenz beansprucht werden, verlagert sich entsprechend der Höhe der Belastung der Beginn der Zahnflankenberührung in Axialrichtung und dementsprechend wandert nach Maßgabe der Belastungsstärke der Ort der höchsten Beanspruchung. Es findet also eine axiale Streckung und somit ein Abbau der Belastungsspitze und eine zeitliche Verteilung der Einwirkungsstelle auf einen größeren Bereich durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Zahnwellenverbindung statt. Zwar kann die Erfindung auch auf fremdzentrierte oder am Umfang selbst zentrierte Zahnwellenverbindungen angewandt wer-



den, die als Ganzes oder wenigstens teilweise spanabhebend gefertigt werden. Dank des tangentialen Verlaufes der Spiel-  
erweiterung und der sich dadurch ergebenden wenigstens ge-  
ringfügigen Zentrierlänge kann aber grundsätzlich auch eine  
Flankenzentrierung der Zahnwellenverbindung vorgesehen sein.  
Hierin liegt für die Großserienanwendung ein besonderer Vor-  
teil, da spanlos z. B. im <sup>oder Querwalz-</sup>Längsverfahren hergestellte Wel-  
lenverzahnungen lediglich hinsichtlich der Flankenform und  
der Zahnstärke sehr genau, nicht aber hinsichtlich des Zahn-  
kopfdurchmessers genau gefertigt werden können. Die Anwend-  
barkeit der Flankenzentrierung bei der erfindungsgemäß aus-  
gestalteten Zahnwellenverbindung ist ein besonderer Vorteil  
für die Anwendung in der Massenfertigung.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand einiger in den Zeich-  
nungen dargestellter Ausführungsbeispiele noch kurz erläu-  
tert; dabei zeigen:

- Fig. 1            eine seitliche Schnittansicht einer Zahnwel-  
lenverbindung,
- Fig. 2            einen achsenkrechten Schnitt durch die Welle  
mit axialer Ansicht auf die Zahnwellenverbin-  
dung (Linie II-II in Fig. 1),
- Fig. 3            eine vergrößerte Darstellung der Einzelheit  
III in Fig. 2,
- Fig. 4            ein abgewickelter Zylinderschnitt (Linie IV-IV  
in Fig. 3), wobei das Flankenspiel in Umfangs-  
richtung stark übertrieben dargestellt ist,

- Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindung mit aus der Wellenkontur herausragender Wellenverzahnung u n d
- Fig. 6 eine Gegenüberstellung des Spannungsverlaufes entlang der axialen Erstreckung der Zahnwellenverbindung bei herkömmlichen und bei erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindungen.

Bei der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Zahnwellenverbindung sind eine Welle 1 und eine Nabe 2 durch eine Verzahnung 4/5 formschlüssig miteinander verbunden. Die Nabe besteht aus einem Nabenflansch 3 und einer Nabenschulter 3a. An dem einen Ende der Welle 1 ist die Verzahnung 4 angebracht, die im Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 bis 4 als eingearbeitete Verzahnung ausgebildet ist. Entsprechend ist im Innern der Nabe eine Innenverzahnung 5 angebracht. Die Verzahnung 4 und 5 ist mit evolventenförmigen Flanken ausgebildet und kann daher maßgenau mit gradflankigen Werkzeugen im Abwälzverfahren hergestellt werden. Zweckmäßigerweise wird die Wellenverzahnung durch einen spanlosen Roll- oder

Walzvorgang zwischen zwei entsprechend geformten Zahnstangenwerkzeugen hergestellt; diese Art der Fertigung ist für die Massenherstellung besonders gut geeignet. Es lassen sich damit Wellenzähne mit sehr hoher Zahnfestigkeit und mit hoher Flankengenauigkeit in jeder gewünschten Toleranzlage fertigen. Während die Zahnflanken 6 durch einen solchen spanlosen Walzvorgang sehr genau gefertigt werden können, müssen für die Durchmesserlage der Zahnköpfe 4a und für die Zahngründe 4b der Wellenzähne 4 größere Toleranzbreiten in Kauf genommen werden. Die Nabenverzahnung 5 wird zweckmäßigerweise

durch einen Räumvorgang hergestellt. Hierbei ergeben sich die Nabenzahnköpfe 5a aus dem zunächst spanabhebend vorbearbeiteten Innendurchmesser der Nabe; die Durchmesserlage der Nabenzahnköpfe 5a kann daher sehr eng toleriert sein. Die Nabenzahngründe 5b dienen als Bearbeitungsauslauf für die Nabenzahnflanken 7; sie sind für eine Umfangszentrierung der Verzahnung aufgrund dieser Form ungeeignet.

Die höchstbeanspruchte Stelle der Verzahnung liegt auf der dem Kraftfluß 8 zugekehrten Stirnseite 9 der Zahnwellenverbindung; die entlastete Stirnseite der Verbindung ist die Seite 10. Von den beiden in Eingriff stehenden Verzahnungen 4 und 5 ist die Wellenverzahnung 4 eindeutig die höherbelastete. Normalerweise tritt unter Last an der Stelle 9 im Wellenzahn eine Spannungsspitze auf.

Zur Reduzierung und zur axialen Streckung dieser Spannungsspitze sind erfindungsgemäß die Zahnflanken 6 der Wellenzähne 4 in Richtung auf die belastete Seite 9 der Zahnwellenverbindung tangential zugeschnitten. Der Zuschnitt ist nur auf einen Teilbereich - Zuschnittlänge  $l_z$  - der axialen Konstruktionslänge der Zahnwellenverbindung beschränkt. In dem verbleibenden Bereich - Zentrierlänge  $l_e$  - sind die Zähne 4 bzw. die Gegenzähne 5 spielfrei/ineinandergepaßt; die Zahnwellenverbindung wird aufgrund der an den Flanken aneinanderliegenden Zähne selbst zentriert. An der Übergangsstelle 13 zwischen Zentrierlänge und Zuschnittlänge hebt die Flanke 6 des schmaler werdenden Wellenzahnes 4 tangential von dem über die ganze Länge streng prismatisch ausgebildeten Nabenzahn 5 bzw. dessen Flanke 7 ab. Die Kon-

\*) (. h. mit Übergangspassung oder Überdeckung)

tur der Zahnflanke im Zylinderschnitt der Fig. 4 gesehen hat kreisbogenförmigen Verlauf, was in Fig. 4 durch den Radiuspfeil  $R'$  angedeutet ist. Durch eine derartige Konturierung ergibt sich mit zunehmender axialer Entfernung vom Beginn 13 ein progressiv zunehmendes Flankenspiel  $s$ . Die im Bereich der Zuschnittlänge  $l_z$  dargestellte Zahnflankenkontur kann als grafische Darstellung eines mathematischen Gesetzes über das Zahnflankenspiel als Funktion der Axialkoordinate - Spielerweiterungsfunktion - verstanden werden. In Fig. 4 ist als strichpunktierte Linie  $f'$  die erste Ableitung des Zahnflankenspieles nach der Axialkoordinate der Spielerweiterungsfunktion eingetragen. Innerhalb des Bereiches der Zuschnittlänge  $l_z$  stellt sich diese Ableitungsfunktion  $f'$  mit sehr guter Näherung als gerade ansteigende Linie dar. Bei Beginn 13 des Zuschnittes geht diese Linie durch Null. Dies besagt, daß die Spielerweiterungsfunktion bzw. die gekrümmte Flankenkontur tangential und sehr vorsichtig von der Gegenflanke 7 abhebt. Durch dieses sanfte Abheben der Wellenzahnflanke ergibt sich eine Verbreiterung der höchstbelasteten Stelle der Zahnflanken in Axialrichtung und somit ein Abbau der Spannungsspitzen. Unter Last wird sich die belastete Zahnflanke des Wellenzahnes affin deformieren. Dadurch wird der Beginn der Berührung der gekrümmten Zahnflanke weiter in Richtung auf die belastete Seite 9 vorrücken; d. h. der Ort der höchsten Belastung ist örtlich nicht festgelegt, sondern verlagert sich in Axialrichtung. Hierdurch wird ein höheres Werkstoffvolumen zur Aufnahme der höchsten Beanspruchung mit herangezogen, wodurch im Hinblick auf Ermüdungsbrüche eine spürbare Werkstoffentlastung eintritt. Optimal ist es, wenn in grober Näherung die Zuschnittlänge  $l_z$  gleichlang ist wie die Zentrierlänge  $l_g$ .

In Fig. 6 ist der Spannungsverlauf in Axialrichtung über die Zahnwellenverbindung hinweg aufgetragen. Und zwar ist der Spannungsverlauf bei herkömmlichen Zahnwellenverbindungen - strichpunktierte Linie - dem Spannungsverlauf bei erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindungen - volle Linie - gegenübergestellt. Durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen ist die Spannungsspitze um wenigstens 30 % niedriger und der Spannungsverlauf ist wesentlich ausgeglichener als bei herkömmlicher Ausgestaltung.

In Fig. 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Zahnwellenverbindung mit sogenannter aufgesetzter Wellenzahnung dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel ist - mit übertriebener Überhöhung - gezeigt, wie am Übergangspunkt 13 zwischen dem Bereich der Zentrierlänge  $l_0$  und dem Bereich der Zuschnittlänge  $l_z$  der Zuschnitt mit kreisbogenförmigem Verlauf einsetzt. Der Krümmungsmittelpunkt 14 liegt senkrecht oberhalb des Übergangspunktes 13. Das Evolventenprofil ist entlang einer kreisbogenförmigen Kontur radial nach innen verschoben - Krümmungsradius R.

Neben den bereits erwähnten Vorteilen einer deutlichen Werkstoffentlastung und der Anwendbarkeit in der spanlosen Fertigung hat die Erfindung den weiteren Vorteil, daß aufgrund besserer Werkstoffausnutzung die Abmessungen einer Zahnwellenverbindung bei gleicher Belastungshöhe kleiner gestaltet werden kann, wodurch sich außerdem leichtere Konstruktionen ergeben. Dies ist grade im Fahrzeugbau besonders wichtig. Durch die erfindungsgemäße Werkstoffentlastung kann u. U. sogar ein Härtevorgang der Zähne der Zahnwellenverbindung eingespart werden. Im übrigen lassen sich die Vorteile der Erfindung mit nur sehr geringfügigen

Änderungen an den Verzahnungswerkzeugen ohne weiteres in die Fertigung einführen. Es brauchen lediglich an den für das Walzen der Verzahnung in die Welle verwendeten Zahnstangen entsprechende - negative - Zuschnitte vorgesehen sein. Dies ist beim heutigen Stand in der Technologie spanloser Formung und beim entsprechenden Stand der Werkzeuggestaltung ohne weiteres möglich.

<sup>12</sup>  
Leerseite

**BEST AVAILABLE COPY**

2656946

Nummer:  
Int. Cl.2:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

26 56 946  
F 16 D 1/06  
16. Dezember 1976  
29. Juni 1978

15

Fig. 1

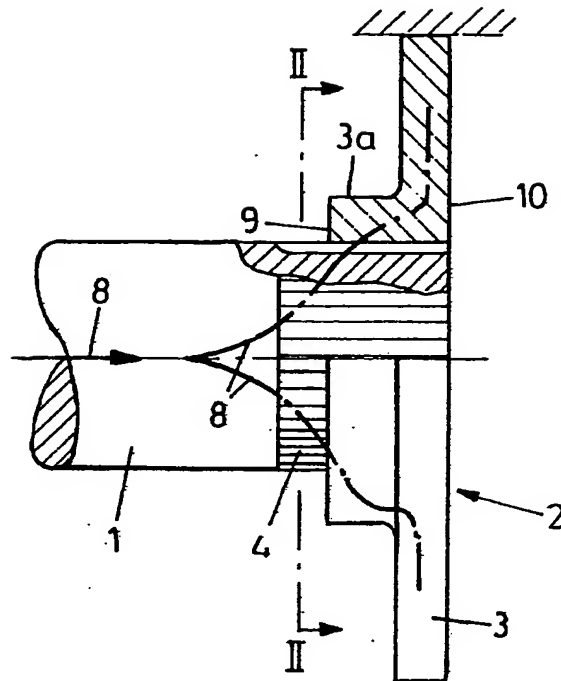
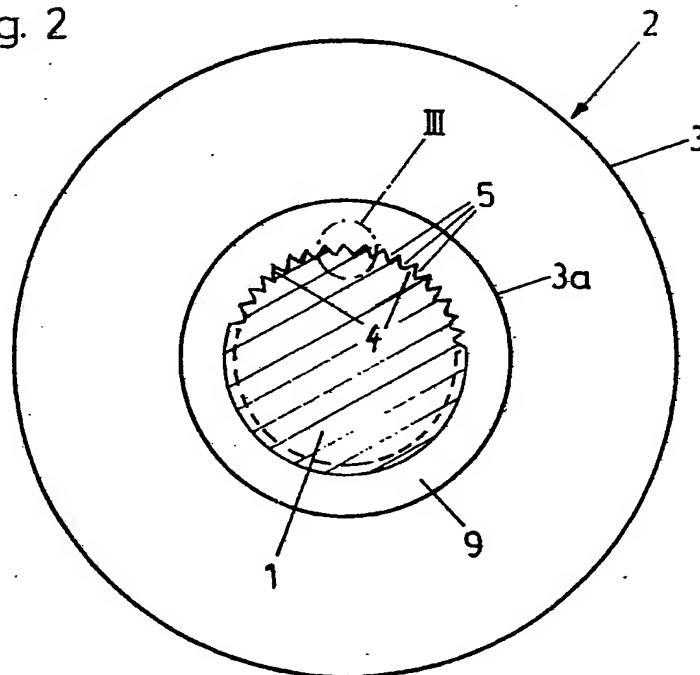


Fig. 2



809826/0035



Fig. 3 2656946

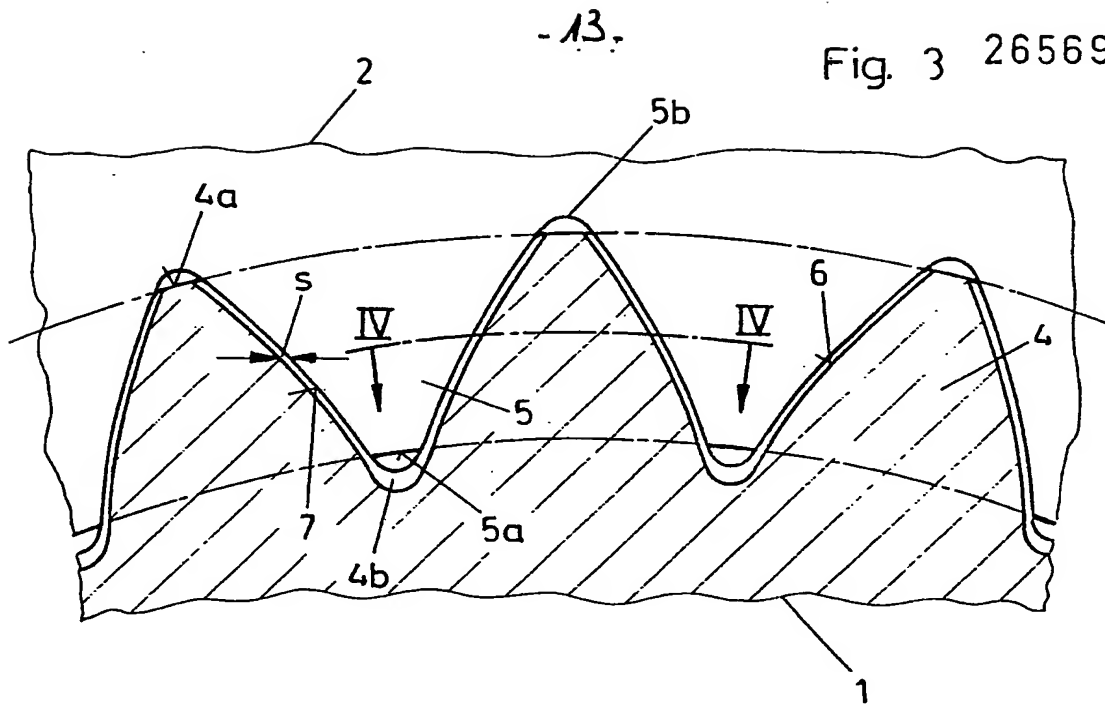
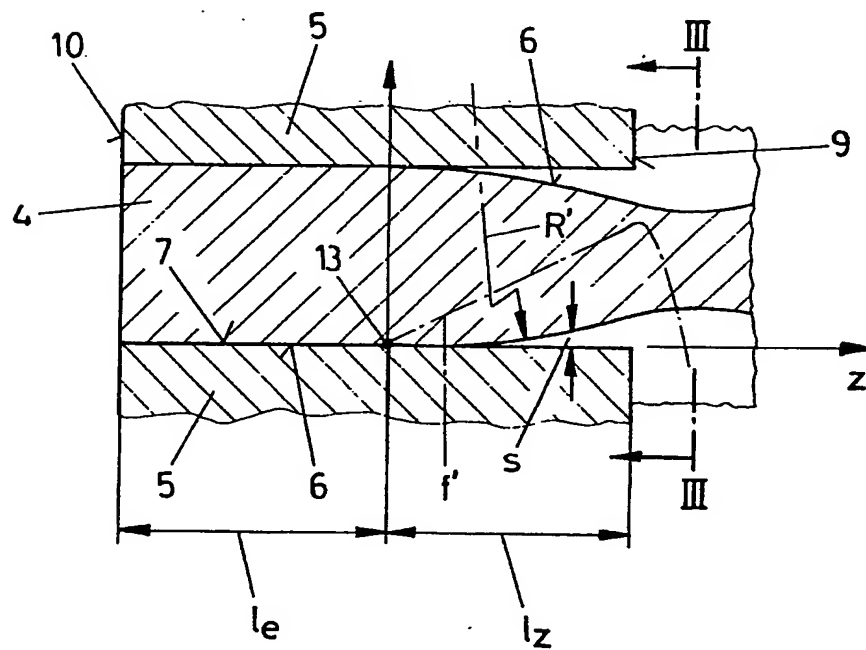


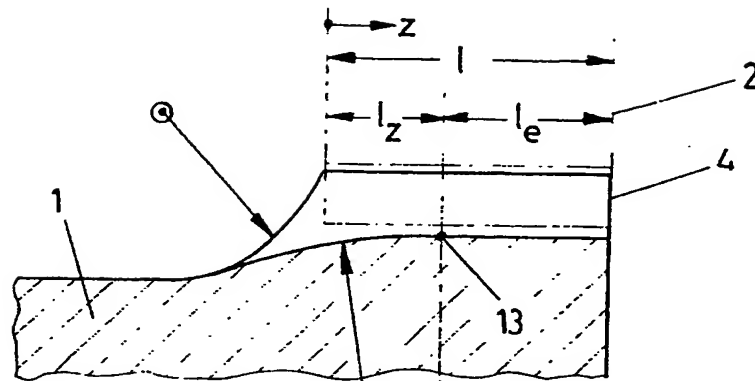
Fig. 4



2656946

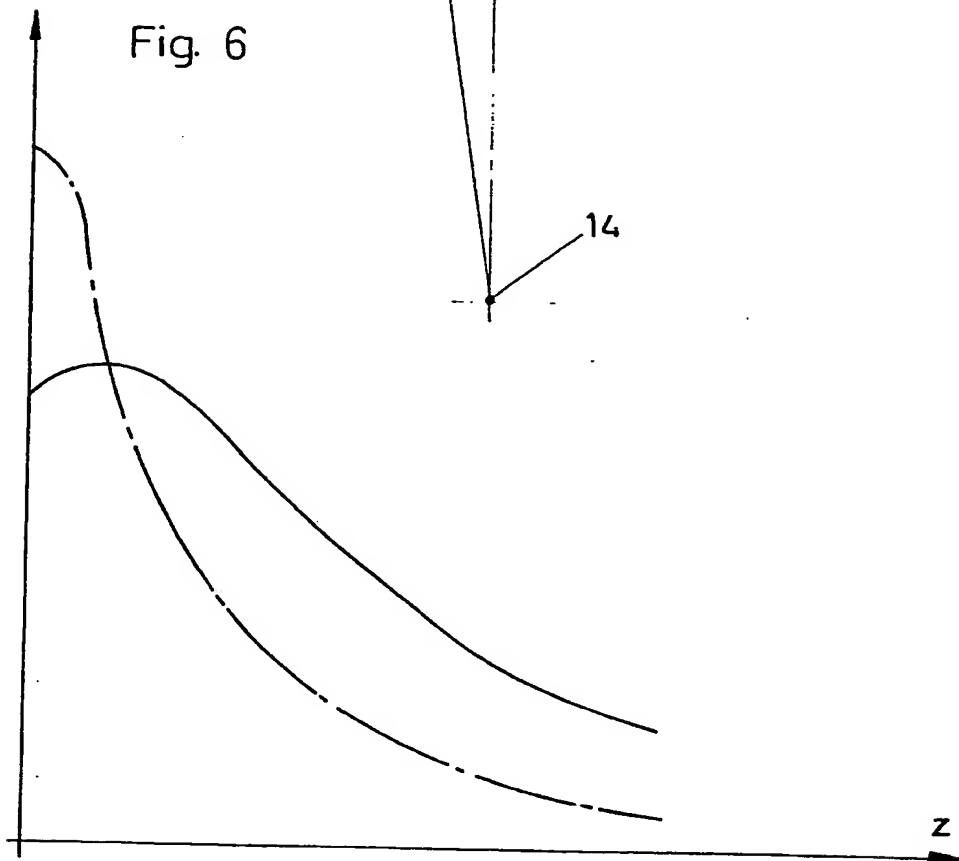
- 14 -

Fig. 5



R

Fig. 6



809826/0035